



**POSITION // JULI 2019**

# **WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region**

Lärmfachliche Bewertung der neuen Leitlinien  
der Weltgesundheitsorganisation für  
Umgebungslärm für die Europäische Region

# Impressum

## Herausgeber:

Umweltbundesamt  
Fachgebiet I 2.4  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
buergerservice@uba.de  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

## Autorinnen und Autoren:

Jördis Wothge

## Satz und Layout:

Atelier Hauer+Dörfler GmbH

## Publikationen als pdf:

[www.umweltbundesamt.de/publikationen](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen)

## Bildquellen:

Titel: Adobe Stock | galitskaya, travelview  
S. 9: Shutterstock.com | Martin Helgemeir  
Unsplash.com  
Shutterstock.com

Stand: Juli 2019

ISSN 2363-8273

**POSITION // JULI 2019**

# **WHO-Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region**

Lärmfachliche Bewertung der neuen Leitlinien  
der Weltgesundheitsorganisation für  
Umgebungslärm für die Europäische Region

## **Inhalt**

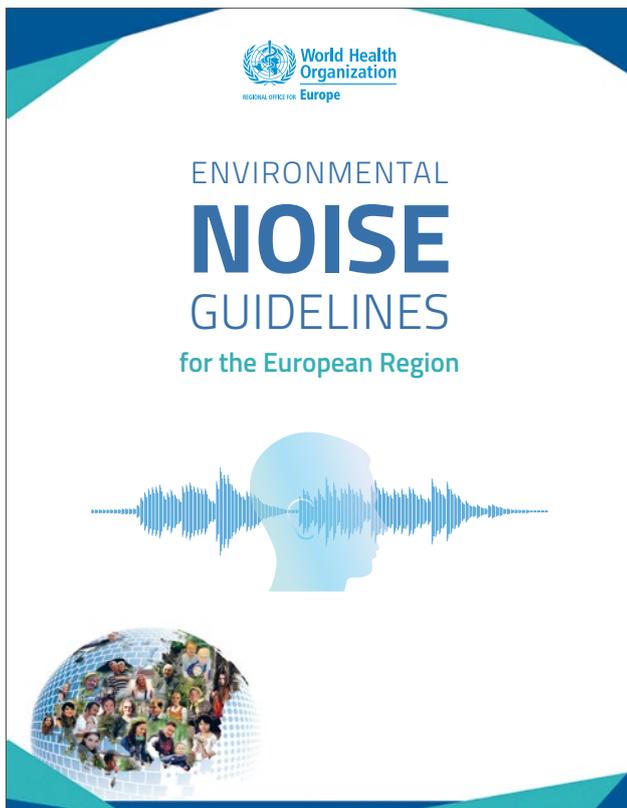
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Entwicklungsprozess der Leitlinien</b> .....	<b>5</b>
2.1 Die Identifikation und Analyse der relevanten wissenschaftlichen Erkenntnisse .....	5
2.2 Bewertung der Evidenz .....	6
2.3 Entwicklung der Empfehlungen .....	6
<b>3 Empfehlungen</b> .....	<b>10</b>
3.1 Straßenverkehrslärm .....	10
3.2 Schienenverkehrslärm .....	13
3.3 Fluglärm .....	15
3.4 Lärm von Windenergieanlagen .....	18
3.5 Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten .....	20
<b>4 Fachliche Gesamteinordnung</b> .....	<b>22</b>
<b>5 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>24</b>

# 1 Einleitung

Im Oktober 2018 hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) neue Leitlinien für Umgebungslärm für die europäische Region veröffentlicht [1]. Nach den ‚Community Noise Guidelines‘ (1999) und den ‚Night Noise Guidelines‘ (2009) sind die Leitlinien für Umgebungslärm das dritte Empfehlungsset, welches die WHO für Umgebungslärm entwickelt hat [2; 3]. Ziel der neuen WHO Leitlinien ist es, die Menschen der europäischen Region umfassend vor den negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Umgebungslärm zu schützen und zu diesem Zweck Entscheidungsträger\*innen gesundheitsbezogene Empfehlungen für die politische Praxis zur Verfügung zu stellen. Die neuen WHO Leitlinien umfassen quellspezifische Empfehlungen für fünf unterschiedlichen Lärmquellen: Straßenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr, Lärm von Windenergieanlagen und Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten. Für jede dieser Lärmquellen werden Leitlinienwerte sowohl für den ganztägigen Dauerschallpegel  $L_{den}$ , als auch den Nachtzeitraum  $L_{night}$  ausgegeben. Darüber hinaus beinhalten die Leitlinien quellspezifische Empfehlungen zu Lärminderungsmaßnahmen.

Die Leitlinien sind mit Hilfe eines standardisierten, wissenschaftlich anerkannten methodischen Verfahrens entwickelt worden, das nicht nur eine objektive und transparente Bemessung der Werte ermöglichen sollte, sondern auch eine systematische Analyse der relevanten wissenschaftlichen Literatur samt Bewertung der Evidenz einbezog und weitere relevante kontextuelle Faktoren (wie beispielsweise die Nutzen und Schäden bei Umsetzung der Empfehlung oder die Machbarkeit) berücksichtigt.

Die vorliegende fachliche Einschätzung beschreibt und bewertet im Folgenden zunächst den Entwicklungsprozess sowie die quellspezifischen Empfehlungen im Einzelnen und ordnet die Leitlinien anschließend insgesamt ein.



## 2 Entwicklungsprozess der Leitlinien

Die neuen WHO Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region beruhen auf einem standardisierten methodologischen Verfahren, welches zur Sicherung und Vereinheitlichung der Qualitätsstandards von WHO Leitlinienwerken eingeführt wurde [4]. Die aktuellen Leitlinien sind die ersten Empfehlungen des Sektors Umwelt und Gesundheit, die mit diesem Verfahren entwickelt wurden.

Im Einzelnen lässt sich das Entwicklungsverfahren in drei übergeordnete Abschnitte unterteilen: a) die Identifikation und Analyse der relevanten wissenschaftlichen Erkenntnisse, b) die Bewertung der Evidenz und c) die Entwicklung der Empfehlungen.

### 2.1 Die Identifikation und Analyse der relevanten wissenschaftlichen Erkenntnisse

Um relevante Erkenntnisse zu identifizieren, bestimmten die Expert\*innen der WHO zunächst gesundheitliche Auswirkungen, die in Zusammenhang mit der Exposition von Umgebungslärm stehen können. Beruhend auf dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse kategorisierten die Expert\*innen die einzelnen gesundheitlichen Auswirkungen in der Folge entweder als entscheidende gesundheitliche Auswirkung („critical health outcome“) oder als wichtige gesundheitliche Auswirkung („important health outcome“). Entscheidende gesundheitliche Auswirkung sind der WHO zu Folge:

Herz-Kreislauf-Erkrankungen, chronische Lärmbelästigung, Schlafstörungen, kognitive Beeinträchtigung sowie Tinnitus und Gehörschäden. Wichtige gesundheitliche Auswirkungen sind: Pränatale Beeinträchtigungen und Fehlgeburten, Auswirkungen auf die Lebensqualität, das allgemeine Wohlbefinden und die mentale Gesundheit sowie metabolische Auswirkungen (siehe Tabelle 1).

In der Folge wurden die jeweiligen Forschungsfelder für die entscheidenden und wichtigen gesundheitlichen Auswirkungen mit Hilfe der PICOS/PECCOS Methode<sup>1</sup> eingegrenzt und präzisiert. Aufgrund der Vielschichtigkeit der Wirkdimension von Umgebungslärm wurden acht unterschiedliche Untersuchungsbereiche gesundheitlicher Auswirkungen als Forschungsfelder voneinander abgegrenzt. Für jedes dieser Forschungsfelder wurde eine eigene Metaanalyse der vorhandenen Literatur mit Hilfe von vorab definierten Kriterien durchgeführt [5]. Nach Abschluss der Forschungsarbeiten durchliefen alle Metaanalysen zusammengefasst als wissenschaftliche Artikel einen Peer-Review Prozess und sind im *International Journal for Environmental Research and Public Health (IJERPH)* veröffentlicht worden [6–13].

<sup>1</sup> PICOS/PECCOS ist ein erkenntnisgeleitete Methode mit Hilfe derer Fragestellungen aus dem Gesundheitsbereich ausgearbeitet werden können, um die Suche nach geeigneter Literatur zu unterstützen [14].

Tabelle 1

### Identifizierte gesundheitliche Auswirkungen von Umgebungslärm

Entscheidende gesundheitliche Auswirkungen	Wichtige gesundheitliche Auswirkungen
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	Pränatale Beeinträchtigungen und Fehlgeburten
Chronische Lärmbelästigung*	Auswirkungen auf die Lebensqualität, das allgemeine Wohlbefinden und die mentale Gesundheit
Schlafstörungen	Metabolische Auswirkungen
Kognitive Beeinträchtigung	
Dauerhafte Gehörschäden und Tinnitus	

\* Die WHO definiert Gesundheit entsprechend ihrer Satzung von 1946 als einen „Zustand vollständigen körperlichen, mentalen und sozialen Wohlbefindens und nicht bloß als die Abwesenheit von [körperlichen] Erkrankungen und Gebrechen“ [1, S. 11]. Die alleinige Betrachtung von körperlicher Gesundheit stellt daher laut WHO kein umfassendes Abbild von Gesundheit dar. Chronische Lärmbelästigung, selbstberichtete Schlafstörungen, die Beeinträchtigung der Lebensqualität und des allgemeinen Wohlbefindens werden im Einklang mit dieser Definition als gesundheitliche Auswirkungen definiert.

### 2.2 Bewertung der Evidenz

Im zweiten Prozessschritt erfolgte die Bewertung *der Evidenz*. Die Bewertung der Evidenz wurde im Rahmen der Metaanalysen durch die jeweils verantwortliche Kleingruppe an Forschenden durchgeführt und erfolgte gesondert für alle gesundheitlichen Auswirkungen. Der Bewertungsprozess beruht auf dem wissenschaftlich anerkannten GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation)-Ansatz. Dieser bemisst die empirische Sicherheit des Zusammenhangs zwischen einer Exposition und einer Wirkung. Der Bewertungsprozess der wissenschaftlichen Erkenntnisse wurde anhand vorab definierter Kriterien durchgeführt, die jeweils zu einer Auf- oder Abwertung der Evidenz führen konnte. Studienrestriktionen und das Risiko für Verzerrungen, Inkonsistenz der Ergebnisse gegenüber anderen Studien, Indirektheit der Ergebnisse, Ungenauigkeit der Effektschätzer oder Publikationsverzerrungen konnten zu einer Abwertung der Evidenz führen. Die Größe des Effekts, die Plausibilität der Störvariablen und die Angabe eines Expositions-Wirkungs-Gradienten konnten eine Aufwertung zur Folge haben. Nach erfolgreicher Bewertung wurde die Evidenz in eine von vier Kategorien eingestuft: ‚hoch‘, ‚moderat‘, ‚niedrig‘ oder ‚sehr niedrig‘. Eine ‚hohe Evidenz‘ bedeutet, dass weitere Forschung mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gewissheit der Effektabschätzung nicht verändern wird. ‚Moderate Evidenz‘ besagt, dass es gut möglich ist, dass weitere Forschung einen wichtigen Einfluss auf die Gewissheit der Effektabschätzung hat und den Effektschätzer beeinflussen kann. Bei einer ‚niedrigen Evidenz‘ wird davon ausgegangen, dass weitere Forschung sehr wahrscheinlich einen wichtigen Einfluss auf die Gewissheit des Effekts hat und es gut möglich ist, dass der Effektschätzer sich verändert. Wird die Evidenz als ‚sehr niedrig‘ eingeschätzt, bedeutet dies, dass jeder gemessene Effekt ungewiss ist.

### 2.3 Entwicklung der Empfehlungen

Beruhend auf den Prozessschritten 2.1 und 2.2 haben die Expert\*innen der WHO die Empfehlungen entwickelt. Die Entwicklung der Empfehlungen ist grundsätzlich in zwei Abschnitte zu unterteilen: die Bestimmung der empfohlenen Expositionswerte, die es für jede der Lärmquellen nicht zu überschreiten gilt, um gesundheitliche Auswirkungen zu vermeiden, und die Bemessung der Stärke der Empfehlung.

#### Bestimmung der empfohlenen Leitlinienwerte

Vor Berechnung der quellenspezifischen Expositionswerte definierten die Expert\*innen der WHO die Zielsetzung der Leitlinienwerte wie folgt: „Die Leitlinienwerte definieren die Exposition, oberhalb derer die Leitlinien-Entwicklungs-Gruppe der WHO sicher davon ausgeht, dass es zu gesundheitlichen Auswirkungen kommen kann“ [1, S. 20].

Um die Leitlinienwerte bestimmen zu können wurden für alle entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen zunächst diejenigen Risikoanstiege festgesetzt, die als relevant (nach der ebengenannten Definition) eingestuft wurden (siehe Tabelle 2).

Die Bestimmung der relevanten Risikoanstiege erfolgte durch die Expert\*innen-Gruppe der WHO. Dies geschah beruhend auf dem aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstand zur Gesundheitsrelevanz der einzelnen gesundheitlichen Auswirkungen. Beruhend auf den Expositions-Wirkungsfunktionen aus den Metaanalysen wurde dann mit Hilfe des jeweiligen relevanten Risikoanstiegs für jede der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen der *exakte maximale Expositionswert* bestimmt. Hierbei handelt es sich um den niedrigsten Wert, der eine Überschreitung des relevanten Risikoanstiegs für die jeweilige gesundheitliche Auswirkung darstellt<sup>2</sup>. Die Bestimmung des exakten maximalen Expositionswerts anhand der jeweiligen Expositions-Wirkungsfunktion erfolgte nur dann, wenn der Expositions-Wirkungszusammenhang der Funktion statistisch signifikant war.

2 Um den jeweiligen Startpunkt der Berechnung des relevanten relativen Risikoanstiegs für den Zusammenhang einer Exposition durch die jeweiligen Lärmquelle und der jeweiligen gesundheitlichen Auswirkung zu setzen, wurde die gewichtete niedrigste durchschnittliche Dauerschallbelastung gemittelt über alle einbezogenen Studien berechnet. Die Gewichtung erfolgte anhand der Inversen der Varianz des Effektschätzers der jeweiligen Studien.

Tabelle 2

**Relevante Risikoanstiege für die Bemessung der Leitlinienwerte nach Definition der WHO**

Entscheidende Gesundheitliche Auswirkung*	Relevanter Risikoanstieg für die Festlegung des empfohlenen Leitlinienwerts
Inzidenz ischämische Herzerkrankung	Anstieg des relativen Risikos um 5 %
Inzidenz Bluthochdruck	Anstieg des relativen Risiko um 10 %
%-Anteil hoch belastigte Personen	Anstieg des absoluten Risikos auf 10 %
%-Anteil hoch schlafgestörte Personen	Anstieg des absoluten Risikos auf 3 %
Dauerhafte Gehörschäden und Tinnitus	Keine Risikoerhöhung durch Umgebungslärm
Verzögerung beim Erwerb der Lesekompetenz und des Hörverständnisses	Ein Monat Verzögerung hinsichtlich des ‚Lesealters‘

\* Für jede der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen wurden vorrangige Messindikatoren definiert, die zur Quantifizierung des Zusammenhangs zwischen der jeweiligen Exposition und der gesundheitlichen Auswirkung verwendet wurden. Für die entscheidende gesundheitliche Auswirkung ‚Herz-Kreislauf-Erkrankung‘ war dies beispielsweise die Inzidenz für ischämische Herzerkrankungen, sowie die Inzidenz für chronischen Bluthochdruck. Für die ‚Lärmbelästigung‘ war dies der %-Anteil an hoch belastigten Personen in der untersuchten Bevölkerung. Um den jeweiligen Startpunkt der Berechnung des relevanten relativen Risikoanstiegs für den Zusammenhang einer Exposition durch die jeweilige Lärmquelle und der jeweiligen gesundheitlichen Auswirkung zu setzen, wurde die gewichtete niedrigste durchschnittliche Dauerschallbelastung gemittelt über alle einbezogenen Studien berechnet. Die Gewichtung erfolgte anhand der Inversen der Varianz des Effektschätzers der jeweiligen Studien.

Die Festlegung des empfohlenen Leitlinienwerts erfolgte schließlich durch den Vergleich der berechneten exakten maximalen Expositionswerte für die einzelnen entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen: Für die durchschnittliche Belastung  $L_{den}$  wurde der exakte maximale Expositionswert derjenigen entscheidenden gesundheitlichen Auswirkung gewählt, der bei der niedrigsten durchschnittlichen Belastung zu einem Überschreiten des relevanten Risikoanstiegs führte. Für die durchschnittliche nächtliche Belastung  $L_{night}$  wurde exakt der maximale Expositionswert gewählt, der zu einer Überschreitung des relevanten Risikoanstiegs für die Störung des Schlafs führte. In den ‚Empfehlungen zu den Lärminderungsmaßnahmen‘ wurden, beruhend auf der Metaanalyse zum Einfluss von Lärminderungsmaßnahmen auf die Gesundheit [7], Maßnahmen empfohlen.

**Bemessung der Stärke der quellenpezifischen Empfehlungen**

Neben der Definition von quellenpezifischen Leitlinienwerten wurde ebenfalls die Stärke jeder Empfehlung mit Hilfe der GRADE-Methodologie bewertet [15]. Jede Empfehlung der WHO wurde in eine von zwei Kategorien, entweder als ‚starke Empfehlung‘ oder als ‚bedingte Empfehlung‘, eingestuft. Eine ‚starke Empfehlung‘ kann laut WHO in den meisten Situationen als politische Richtlinie übernommen werden. Die Empfehlung beruht auf der Überzeugung, dass der gewünschte Effekt bei Befolgen der Empfehlung gegenüber möglichen unerwünschten Folgen überwiegt. Somit sollte die Empfehlung in den meisten Situationen umgesetzt werden. Eine ‚bedingte Empfehlung‘ erfordert laut WHO einen politischen Abstimmungsprozess mit umfangreicher Diskussion unter Einbeziehung der verschiedenen beteiligten Akteur\*innen. Es gibt weniger Gewissheit in Bezug auf die Effektivität der Empfehlung, da die Evidenz niedrig ist, es widersprüchliche Werte und Einstellungen unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen gibt oder der Ressourcenaufwand durch die Empfehlung sehr hoch ist. Dies kann dazu führen, dass die Empfehlung nicht unter allen Umständen anwendbar ist [1, S. 23]. Die Bewertung der Stärke der Empfehlung erfolgte auf Basis unterschiedlicher Parameter. Im Einzelnen wurde die empirischen Evidenz, die Ausgewogenheit der Nutzen und Schäden bei Umsetzung der Empfehlung, die Werte und Präferenzen der Bevölkerung im Hinblick auf die möglichen gesundheitlichen Folgen

der Exposition, die Implikationen für den Ressourcenverbrauch, Umweltgerechtigkeit und Menschenrechte, Akzeptanz sowie Machbarkeit einbezogen. Dem Parameter der Evidenz kam bei der Bewertung eine zentrale Rolle zu. So sprachen die Expert\*innen der WHO nur dann eine ‚starke Empfehlung‘ aus, wenn die empirischen Evidenz für die jeweilige Exposition und gesundheitliche Auswirkung mindestens als moderat eingestuft worden war.

### Fachliche Einordnung

#### *Qualität und Transparenz durch Standardisierung*

Um die Qualität von WHO Leitliniensets zu standardisieren, hat die WHO zu Beginn der 2010er Jahre ihre Leitlinien-Entwicklung vereinheitlicht. Seitdem werden alle Leitlinien mit Hilfe des eigens dafür erstellten ‚Handbuchs zur Leitlinienentwicklung‘ erarbeitet [4]. Die Vereinheitlichung der Leitlinien ist ein wichtiger Schritt zur Qualitätssicherung aller Leitlinien der WHO. Hierdurch wird das Maß an Objektivität und Transparenz, das in den Entwicklungsprozess einfließt, maximiert und werden einheitliche Standards für alle Leitlinien unabhängig von ihrem Anwendungsfeld gesetzt. Die neuen WHO Leitlinien für Umgebungslärm sind die ersten Leitlinien aus dem Anwendungsfeld ‚Umwelt & Gesundheit‘, die mit den neuen methodologischen Standards entwickelt wurden. Dies ist ein wichtiger Meilenstein für den Fachbereich der Lärmwirkungen sowie für die Anwendbarkeit der Leitlinien im politischen Prozess und durch Behörden. Gleichzeitig zeigt sich, dass die methodologischen Standards weiterhin verbessert werden können. Das Verfahren ist ausgelegt für Leitlinien aus dem medizinischen Sektor. Hier sind in der Regel andere Studiendesigns gebräuchlich, die sich für das Themenfeld Umwelt und Gesundheit nur schwer verwirklichen lassen: So orientiert sich das Verfahren an randomisierten Kontrollstudien und Studien mit Kohorten-Design. Randomisierte Kontrollstudien sind im Kontext der Untersuchung von Umwelteinflüssen nicht möglich und Kohorten-Studien bedürfen eines sehr aufwendigen Forschungsverfahrens. Da der Umweltfaktor „Umgebungslärm“ nicht im gleichen Ausmaß kontrolliert zu untersuchen ist, sind Querschnittsdesigns in vielen Studien Standard. Hierdurch mussten für einen Teil der gesundheitlichen Auswirkungen (insbesondere die chronische Lärmbelästigung) die Bewertungsschemata angepasst werden [16]. Dies hatte zur Folge, dass die Evidenz eher konservativ eingeschätzt worden ist.

#### *Hohe Objektivität bei Leitlinienwertfestsetzung*

Aus Sicht des Umweltbundesamts ist die Umstellung der Entwicklungsmethodologie insgesamt trotzdem deutlich positiv herauszustellen, da sie den Leitlinienprozess objektiv und transparent macht. Zum einen wurde die einbezogene Literatur mittels Metaanalysen aggregiert und auf diesem Wege an zwei Stellen auf ihre Qualität hin geprüft: Erstens bei der Aufnahme in den Metaanalyseprozess und zweitens während des Peer-Review-Verfahrens zur Veröffentlichung der Erkenntnisse in einem wissenschaftlich qualitätsgeprüften Journal. Zum anderen wurde der Prozess an zwei Stellen in einem externen Review-Verfahren durch nicht am Prozess beteiligte Forscher\*innen evaluiert. Insgesamt waren vier separate Gruppen am Entwicklungsprozess beteiligt: Die WHO Steuerungsgruppe, die für die Koordination der Leitlinien-Entwicklung zuständig war; die Metaanalyse-Teams, die in Kleingruppen von Forschenden die Metaanalysen durchgeführt haben; die Leitlinienentwicklungsgruppe, die sowohl Ziel und Umfang der Leitlinien als auch die Empfehlungen entwickelt hat; und die externe Evaluationsgruppe, die nicht am Prozess beteiligt war, aber den Prozess an verschiedenen Stellen wissenschaftlich evaluiert hat.

Die hohe Objektivität gilt insbesondere auch für die Entwicklung der empfohlenen Leitlinienwerte mit Hilfe von exakten maximalen Expositionswerten für die entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen. Die Festlegung der relevanten Risikoanstiege erfolgte unabhängig und im Vorhinein zu der Berechnung der empfohlenen Leitlinienwerte anhand der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnislage. Die Expert\*innen der WHO definierten die Relevanz von Erkrankungsrisiken in einem eigenständigen Prozess ohne Kenntnis darüber, wie sich dies zu einem späteren Zeitpunkt in den Leitlinienwerten ausdrücken.

#### *Keine Möglichkeit zum Einbezug aktuellster Erkenntnisse*

Aus Sicht des Umweltbundesamts ist es bedauerlich, dass im Rahmen der Metaanalysen lediglich Literatur bis zum Ende des Jahres 2014 (bzw. in wenigen Metaanalysen bis zum Ende des Jahres 2015) einbezogen werden konnte. Dies hat zur Folge, dass wichtige neue Erkenntnisse insbesondere im Bereich des Fluglärms und des Lärms von Windenergieanlagen nicht berücksichtigt werden konnten [17–22]. Teilweise hält die WHO dies selbst in den detaillierten Ergebnisbeschreibungen für die Empfehlungen fest [1, S. 78].

### *Keine Effektschwellen (LOAELs), sondern relevante Risikoanstiege*

Eine Änderung von zentraler Bedeutung im Vergleich zu vorangegangenen Leitlinien ist aus Sicht des Umweltbundesamts die Definition und Nutzung relevanter Risikoanstiege. Im Gegensatz zu den ‚WHO Night Noise Guidelines‘ [3], in denen die Empfehlungswerte auf den so genannten LOAELs (lowest-observed-adverse-effect level) beruhen – also dem niedrigsten Expositionswert, der mit einer gesundheitlichen Auswirkung assoziiert ist, definieren die aktuellen Leitlinien Empfehlungswerte, ab denen die Expert\*innen der WHO *sicher* davon ausgehen, dass es zu gesundheitlichen Auswirkungen kommen kann. Die Festsetzung von relevanten Risikoanstiegen hat zur Folge, dass auch unterhalb dieser Werte bereits erhöhte Risiken für gesundheitliche Auswirkungen bestehen können. Das Umweltbundesamt nimmt zur Kenntnis, dass die Verwendung von relevanten Risikoanstiegen im Sinne der Umsetzbarkeit der Empfehlungen erfolgt ist. Es stellt jedoch heraus, dass auf Grund der Ernsthaftigkeit der Erkrankung und des vergleichsweise hohen absoluten Erkrankungsrisikos auf Bevölkerungsebene, insbesondere die Wahl des relativen Risikoanstiegs von 5 % für die Inzidenz lärmbedingter ischämischer Herzerkrankungen eine Setzung darstellt, die im Sinne des lärmbezogenen Gesundheitsschutzes auch niedriger gewählt werden kann und sollte. So wurde im Verlauf des Entwicklungsprozesses der Leitlinien ebenfalls einen relevanter Anstieg des relativen Risikos von 1 % erwogen.

### *Ganzheitliche Betrachtung durch kontextuelle Parameter*

Der Einbezug weiterer kontextueller Parameter neben der wissenschaftlichen Literatur verfolgt ebenfalls das Ziel, die Umsetzbarkeit der Leitlinien zu erhöhen. Das Umweltbundesamt begrüßt den Ansatz einer umfassenden Betrachtung, der in der GRADE-Methodologie angelegt ist. Es ist jedoch festzustellen, dass die Analyse kontextueller Parameter für Empfehlungen zum Schutz vor anthropogenen Umwelteinflüssen sich konzeptuell von der Analyse kontextueller Parameter im Hinblick auf Empfehlungen aus dem Bereich der klinischen Intervention unterscheidet. Da nicht die Empfehlung zur Durchführung einer klinischen Intervention gegenüber der Nichtdurchführung abgewogen werden, sondern der Grad der Exposition bewertet wird. Dies hat zur Folge, dass eine abschließende Abschätzung aller relevanten kontextuellen Parameter in den neuen WHO Leitlinien nicht unter allen Umständen erfolgen konnte.



## 3 Empfehlungen

Die Festsetzung der quellspezifischen Leitlinienwerte beruht auf den exakten maximalen Expositionswerten, die mit Hilfe der relevanten Risikoanstiege und Expositions-Wirkungsfunktionen für die entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen berechnet wurden. Die Leitlinienwerte sind anhand eines 1-dB(A)-Rasters definiert. Nachkommastellen in den dB(A)-Werten wurden jeweils zur nächsten Dezimalstelle abgerundet. Im Einzelnen wurden für jede Quelle drei Empfehlungen ausgesprochen: Eine Empfehlung für die durchschnittliche Dauerschallbelastung am ganzen Tag  $L_{den}$ , eine Empfehlung für die durchschnittliche Dauerschallbelastung in der Nacht  $L_{night}$  und eine Empfehlung für mögliche Lärminderungsmaßnahmen. Die Einstufung der Stärke der jeweiligen Empfehlung geschah anhand der Evidenz sowie weiterer relevanter kontextueller Parameter wie der Ausgewogenheit der Nutzen und Schäden bei Umsetzung der Empfehlung, den Werten und Präferenzen der Bevölkerung im Hinblick auf die möglichen gesundheitlichen Folgen der Exposition, den Implikationen für den Ressourcenverbrauch, Umweltgerechtigkeit und Menschenrechten, der Akzeptanz und der Machbarkeit.

### 3.1 Straßenverkehrslärm

Empfehlungen der WHO für die Lärmbelastung durch Straßenverkehr:

- ▶ **Durchschnittliche Belastung ( $L_{den}$ )**  
Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche Lärmbelastung durch Straßenverkehr einen  $L_{den}$  von **53 dB(A)** nicht zu überschreiten, weil Straßenverkehr oberhalb dieses Dauerschallpegels mit schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.
- ▶ **Nächtliche Dauerschallbelastung ( $L_{night}$ )**  
Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche nächtliche Lärmbelastung durch Straßenverkehr einen  $L_{night}$  von **45 dB(A)** nicht zu überschreiten, da nächtlicher Straßenverkehrslärm oberhalb dieses Dauerschallpegels mit Beeinträchtigungen des Schlafs verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.
- ▶ **Lärminderungsmaßnahmen des Straßenverkehrs**  
Die WHO empfiehlt, dass die Politik geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Lärmbelastung durch Straßenverkehr oberhalb der empfohlenen Leitlinienwerte ergreift um die gesundheitlichen Auswirkungen durch Straßenverkehrslärm zu mindern. Als konkrete Maßnahmen empfiehlt die WHO, Straßenverkehrslärm sowohl **an der Quelle** als auch **auf der Strecke** zwischen der Quelle und der betroffenen Bevölkerung durch **Veränderungen in der Infrastruktur** zu verringern. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.



### Relevante Ergebnisse im Detail

Im Einzelnen lassen sich vier entscheidende gesundheitliche Auswirkungen für die Entwicklung der Straßenverkehrslärmempfehlung besonders hervorheben: Der Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm und der chronischen Belästigung, den ischämischen Herzerkrankungen, der Störung des Schlafes sowie der Effektivität möglicher Lärminderungsmaßnahmen zur Reduktion gesundheitlicher Auswirkungen. Die Bestimmung des Leitlinienwerts für die durchschnittliche Lärmbelastung  $L_{den}$  des Straßenverkehrs erfolgte auf Basis der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkung der chronischen Lärmbelästigung. Ein relevanter absoluter Risikoanstieg<sup>1</sup> für die hohe Belästigung wird bei einem Dauerschallpegel von 53,3 dB(A)  $L_{den}$  des Straßenverkehrs überschritten. Zur Berechnung des Expositions-Wirkungszusammenhangs zwischen Straßenverkehrslärm und dem prozentualen Anteil an hoch belästigten Personen (%HA) wurden 17 Studien mit insgesamt 34.112 Teilnehmenden zu Grunde gelegt. Die Evidenz wird von den Expert\*innen der WHO als moderat eingestuft.

Neben der chronischen Belästigung sind insbesondere die Erkenntnisse zur Inzidenz ischämischer Herzerkrankungen von zentraler Bedeutung. So wird ein relevanter Anstieg des relativen Risikos für die Inzidenz ischämischer Herzerkrankungen von 5 % bei einer durchschnittlichen Lärmbelastung von 59,3 dB(A) überschritten. Das relative Risiko (RR) liegt bei 1,08 (95 % Confidence Interval (CI): 1,01–1,15). Als Ausgangspunkt der Berechnung des relevanten relativen Risikoanstiegs dient der gewichtete Durchschnitt der niedrigsten durchschnittlichen Exposition der einbezogenen Studien. Dieser liegt bei einem  $L_{den}$  von 53 dB(A). Die Erkenntnisse beruhen auf drei Kohorten-Studien und vier Fallkontroll-Studien sowie einer ökologischen Untersuchung. Die Evidenz wird als hoch eingestuft.

Im Hinblick auf die nächtliche durchschnittliche Lärmbelastung durch den Straßenverkehr zeigt sich, dass ein relevanter Anstieg des absoluten Risikos<sup>2</sup> bei einer Lärmbelastung von 45,4 dB(A) überschritten wurde. Insgesamt wurden 12 Studien mit einer Gesamtzahl von 20.120 untersuchten Personen in die Analyse des Zusammenhangs einbezogen. Die Evidenz wird von der WHO als moderat eingestuft.

Für die Bewertung der Effektivität von Lärminderungsmaßnahmen wurden insgesamt 33 Studien analysiert. Beruhend auf den Erkenntnissen benennt die WHO insbesondere Maßnahmen an der Quelle, wie die Verwendung von lärmarmen Reifen oder lärmindernden Fahrbahnbelägen, sowie die Minderung des allgemeinen Verkehrsflusses, um die Exposition durch Straßenverkehrslärm zu mindern. Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Lärminderungsmaßnahmen des Straßenverkehrslärms und gesundheitlichen Auswirkungen zeigt sich, dass Maßnahmen an der Quelle, Maßnahmen am Weg zwischen Quelle und Immissionsort sowie Maßnahmen an der Infrastruktur die chronische Lärmbelästigung und Störungen des Schlafs mindern können. Die Evidenz beider Zusammenhänge wird von den Expert\*innen der WHO als moderat eingestuft.

### Fachliche Einordnung

Auf Grund der Vielzahl verfügbarer Studien und der teils hohen qualitativen Güte ist der Zusammenhang von Straßenverkehrslärm und verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen als gut belegt zu erachten. Allein für die priorisierten Messindikatoren der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen konnten Ergebnisse aus 46 Studien einbezogen werden. Neben den Erkenntnissen zur chronischen Lärmbelästigung, die den Leitlinienwert für die durchschnittliche Lärmbelastung  $L_{den}$  durch Straßenverkehr definieren, sind hierbei insbesondere die Erkenntnisse zu den ischämischen Herzerkrankungen hervorzuheben. Die Evidenz dieses Zusammenhangs wird von den Expert\*innen der WHO als hoch eingestuft. Es handelt sich hierbei um die einzige hohe Einstufung der Evidenz wissenschaftlicher

<sup>1</sup> Ein Anteil von 10 % hoch belästigter Personen in der untersuchten Bevölkerung, die von Straßenverkehrslärm betroffen ist.

<sup>2</sup> Ein Anteil von 3 % hoch schlafgestörter Personen in der untersuchten Bevölkerung, die von Straßenverkehrslärm betroffen ist.

Erkenntnisse im gesamten Leitlinienset. Die Ergebnisse stellen im Vergleich zu vorangegangenen Leitlinien einen Erkenntnisfortschritt von zentraler Bedeutung dar. Bei einer durchschnittlichen Belastung mit einem  $L_{den}$  von 59 dB(A) liegt das Risiko, straßenverkehrslärmbedingt an einer ischämischen Herzkrankheit zu erkranken, bereits über 5%. Ergänzend ist zu berücksichtigen, dass, entsprechend des methodologischen Vorgehens zur Leitlinienwertberechnung der WHO, der gewichtete Durchschnitt der niedrigsten durchschnittlichen Exposition (53 dB(A)) als Ausgangspunkt für die Berechnung des relevanten relativen Risikoanstiegs verwendet worden ist. Die verantwortlichen Wissenschaftler\*innen, welche die Metaanalyse zu den Herz-Kreislauf-Erkrankungen und metabolischen Effekten durchgeführt haben, fanden bereits bei 40 dB(A) einen Zusammenhang zwischen der Straßenverkehrsexposition und dem relativen Risiko, an einer ischämischen Herzkrankheit zu erkranken [13]. Dies deutet darauf hin, dass es bereits bei niedrigerer andauernder Belastung durch Straßenverkehrslärm zu relativen Risikoanstiegen für das Auftreten einer ischämischen Herzkrankheit kommen kann. Insbesondere die kontinuierliche Zunahme des relativen Risikos bei niedrigeren Belastungen durch Straßenverkehr ist im Einklang mit neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen, die auf Grund ihres Erscheinungsdatums nicht mehr in die Metaanalyse der WHO einbezogen wurden [17; 20].

In den relevanten Vorschriften zur Bekämpfung des Verkehrslärms von Straßen- und Schienenwegen<sup>3</sup> werden aktuell 70 dB(A) am Tag  $L_{day}$  und 60 dB(A) in der Nacht  $L_{night}$  als Schwellenwerte zur lärmbedingten Gesundheitsgefährdung definiert. Die aktuellen Empfehlungen der WHO liegen beispielsweise beim Straßenverkehr (auch bei Berücksichtigung der Umrechnung des gewichteten Ganztagsdauerschallpegels  $L_{den}$  in den ungewichteten Tagesdauerschallpegel  $L_{day}$ <sup>4</sup>) immerhin mindestens 15 dB(A) niedriger. Dies verdeutlicht den dringenden Überarbeitungsbedarf der bestehenden Vorschriften, um einen angemessenen Gesundheitsschutz der Bevölkerung gegenüber der dauerhaften Belastung durch Straßenverkehr zu gewährleisten. Insbesondere die Erkenntnisse zu den erhöhten Risiken für ischämische Herzkrankheiten unterstreichen den Handlungsbedarf.

Auch die Ergebnisse und Empfehlungen der WHO zu den Lärminderungsmaßnahmen im Straßenverkehr bestätigen die Empfehlungen des Umweltbundesamts für diesen Bereich. Dies gilt insbesondere für die Maßnahmen zur Lärminderung an der Quelle durch regulatorische (z. B. eine Regelgeschwindigkeit von 30 km/h im innerstädtischen Raum), technische (z. B. die Verwendung lärmmarmer Reifen) und bauliche Maßnahmen (z. B. der Einbau von lärmindernden Fahrbahnbelägen).

<sup>3</sup> Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269) geändert worden ist, Richtlinien für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm – Lärmschutz-Richtlinien – StV, VwBl. 2007, S. 767.

<sup>4</sup> Kooperationserlass-Lärmaktionsplanung vom 29. Oktober 2018, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg.



### 3.2 Schienenverkehrslärm

Empfehlungen der WHO für die Lärmbelastung durch Schienenverkehr:

► **Durchschnittliche Belastung ( $L_{den}$ )**

Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche Lärmbelastung durch Schienenverkehr einen Lärmpegel von **54 dB(A)  $L_{den}$**  nicht zu überschreiten, weil Schienenverkehr oberhalb dieses Dauerschallpegels mit schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.

► **Nächtliche Dauerschallbelastung ( $L_{night}$ )**

Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche nächtliche Lärmbelastung durch Schienenverkehr einen Lärmpegel von **44 dB(A)  $L_{night}$**  nicht zu überschreiten, da nächtlicher Schienenverkehr oberhalb dieses Dauerschallpegels mit Beeinträchtigungen des Schlafs verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.

► **Lärmminderungsmaßnahmen des Schienenverkehrs**

Die WHO empfiehlt, dass die Politik geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Lärmbelastung durch Schienenverkehr oberhalb der empfohlenen Leitlinienwerte ergreift, um die gesundheitlichen Auswirkungen durch Schienenverkehrslärm zu mindern. Beruhend auf der aktuellen Erkenntnislage konnte keine Maßnahme gegenüber anderen bevorzugt empfohlen werden. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.

#### Relevante Ergebnisse im Detail

Die Bestimmung des Leitlinienwerts für die durchschnittliche Lärmbelastung  $L_{den}$  des Schienenverkehrs erfolgte auf Basis der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkung der chronischen Lärmbelästigung. Der relevante Risikoanstieg<sup>5</sup> für die chronische Lärmbelästigung wird bei einer durchschnittlichen Schienenverkehrslärmbelastung von 53,3 dB(A)  $L_{den}$  überschritten. Insgesamt wurden 10 Studien mit 10.970 untersuchten Personen in die Analyse des Expositions-Wirkungszusammenhangs einbezogen. Die Evidenz wird als moderat eingestuft.

Für die Inzidenz der ischämischen Herzkrankheit, die Inzidenz des Bluthochdrucks, dauerhafte Gehörschäden und die Verzögerung der Entwicklung des Lese- und Hörverständnisses konnten auf Grund fehlender wissenschaftlicher Erkenntnisse keine Expositions-Wirkungszusammenhänge berechnet werden. Das absolute Risiko<sup>6</sup>, durch nächtlichen Schienenverkehr dauerhaft hoch schlafgestört zu sein, erreicht bei einer durchschnittlichen nächtlichen Schienenverkehrsbelastung von 43,7 dB(A) einen relevanten Anstieg. In die Berechnung des Leitlinienwerts für die durchschnittliche nächtliche Belastung gingen fünf Studien mit insgesamt 7.133 Teilnehmenden ein. Die Evidenz wird von der WHO als moderat eingestuft.

#### Fachliche Einordnung

Im Vergleich zum Straßenverkehrslärm sind die gesundheitlichen Auswirkungen des Schienenverkehrslärms bislang weniger intensiv erforscht. Dies zeigt sich auch an der im Verhältnis geringeren Gesamtzahl an einbezogenen Studien (16), die für die Bewertung der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen zur Verfügung stand. Am besten untersucht ist der Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Exposition des Dauerschalls  $L_{den}$  und der chronischen Lärmbelästigung. Die Evidenz wird von der WHO als moderat eingestuft.

Die neu berechnete Expositions-Wirkungsfunktion der durchschnittlichen Schienenverkehrsbelastung  $L_{den}$  und dem Anteil hoch belastigter Personen birgt zudem die wichtige Erkenntnis, dass die chronische Lärmbelästigung bei gleicher Lärmbelastung durch den Schienenverkehr in den letzten zwei Jahrzehnten zugenommen hat. Bei einem Vergleich der aktuellen Expositions-Wirkungskurve der WHO mit der Expositions-Wirkungskurve von Miedema und Oudshoorn [24], die derzeit noch der EU-Umgebungslärmrichtlinie zu Grunde liegt, zeigt sich, dass der prozentuale Anteil hoch belastigter Personen bei einer durchschnittlichen Schienenverkehrslärmbelastung von 60 dB(A) heute um 10 % höher liegt (ca. 17 % statt 7 % HA) als noch zu Beginn des neuen Jahrtausends.

<sup>5</sup> Ein Anteil von 10 % hoch belastigter Personen in der untersuchten Bevölkerung, die von Schienenverkehrslärm betroffen ist.

<sup>6</sup> Ein Anteil von 3 % hoch schlafgestörter Personen in der untersuchten Bevölkerung, die von Schienenverkehrslärm betroffen ist.

Bei einem Vergleich der Expositions-Wirkungszusammenhänge der Schienenverkehrsbelastung bzw. der Straßenverkehrsbelastung mit dem Anteil hoch belastigter Personen wird darüber hinaus deutlich, dass der Schienenverkehr bei gleicher Belastung heute als belastigender wahrgenommen wird als der Straßenverkehr. Dies gilt insbesondere für die höheren Pegelbereiche ab 60 dB(A)  $L_{den}$  und stellt eine Abkehr von der lange üblichen Annahme, dass der Schienenverkehr die am wenigsten lästige Lärmquelle ist, dar. Der Trend zur Umkehr des Lästigkeitserlebens des Straßen- und Schienenverkehrs ist auch im Einklang mit neueren Ergebnissen der Lärmbelastungsforschung, die auf Grund ihres späteren Veröffentlichungsdatums nicht mehr in die WHO-Analysen einbezogen wurden [19]. Dies spiegelt sich auch in den Leitlinienwerten zum nächtlichen Dauerschallpegel  $L_{night}$  des Straßen- und Schienenverkehrs wider. Hier empfiehlt die WHO erstmalig sogar einen niedrigeren Wert für die durchschnittlichen nächtlichen Schienenverkehrslärmbelastung  $L_{night}$  (44 dB(A)  $L_{night}$ ) gegenüber der nächtlichen Straßenverkehrsbelastung (45 dB(A)  $L_{night}$ ).

Das Umweltbundesamt begrüßt, dass sich die Aufhebung des so genannten Schienenbonus<sup>7</sup> auch in den erkenntnisbasierten Empfehlungen der WHO wiederfindet, da dies den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung gerecht wird.

Es ist jedoch herauszustellen, dass der Leitlinienwert von 44 dB(A)  $L_{den}$  für die nächtliche Schienenverkehrsbelastung (ebenso wie der Leitlinienwert von 45 dB(A) für die nächtliche Straßenverkehrsbelastung) erstmals höher liegt als der zuvor von der WHO empfohlene Leitlinienwert. So empfahl die WHO in den Night Noise Guidelines (NNG) [3] eine durchschnittliche nächtliche Lärmbelastung von 40 dB(A)  $L_{night}$  nicht zu überschreiten, um negative gesundheitliche Auswirkungen zu vermeiden. Die höheren Empfehlungswerte in den aktuellen Leitlinien liegen in der unterschiedlichen methodologischen Vorgehensweise der zwei Leitliniensets begründet. Während die NNG so genannte LOAEL (lowest-observed-adverse-effect level) Werte definieren, bemessen die aktuellen Leitlinien relevante Risikoanstiege (siehe

auch *Entwicklungsprozess der Leitlinien*). Die WHO weist daher explizit auf den Fortbestand der Gültigkeit der Empfehlungen der NNG hin [1, S. 28]. Ein zweiter wichtiger Unterschied der aktuellen Leitlinien zu den NNG – insbesondere im Hinblick auf den nächtlichen Schienenverkehr – ist der Fokus und die Verwendung von Dauerschallindikatoren ( $L_{den}$  &  $L_{night}$ ) zur Definition der Leitlinienwerte. Der Zusammenhang zwischen verschiedenen gesundheitlichen Auswirkungen und Lärmquellen mit intermittierenden Geräuschcharakteristiken lässt sich häufig besser durch Maximalpegel von Einzelschallereignissen wiedergeben. Dies trifft insbesondere auf den nächtlichen Schienen- und Luftverkehr zu. Die WHO erkennt die Wichtigkeit von Einzelschallereignis-Geräusch-Indikatoren in Ihren Leitlinien an und verweist im Hinblick auf den Verzicht von Empfehlungen zu Einzelschall-Geräusch-Indikatoren auf die nicht flächendeckende Verwendung von Indikatoren wie den  $L_{A,max}$  [1]. Polysomnografische Untersuchungen zu den physiologischen Wirkungen von Maximalpegeln des Schienenverkehrs (z. B. in Form von nächtlichen Aufwachreaktionen) konnten so beispielsweise keine Berücksichtigung in den aktuellen Leitlinien finden. Der Zusammenhang zwischen nächtlichen Aufwachreaktionen und Einzelschallereignissen des Schienenverkehrs ist aus Sicht des Umweltbundesamts gut belegt [26–27]. Das Umweltbundesamt begrüßt daher die Einschätzungen der WHO zur Relevanz von Einzelschall-Geräusch-Indikatoren bei intermittierenden Geräuschquellen und fordert auch weiterhin eine Einhaltung des bereits im Jahr 2009 durch die WHO empfohlenen und weiterhin gültigen Werts von 40 dB(A)  $L_{night}$  nachts für den Schienenverkehr.

Im Hinblick auf den bestehenden Forschungsbedarf teilt das Umweltbundesamt die Einschätzung der WHO, dass insbesondere Forschung zu den Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System und mögliche kognitive Beeinträchtigungen von hoher Relevanz sind.

<sup>7</sup> Der Schienenbonus ist ein Korrektur-Faktor, der in den vergangenen Jahrzehnten im politischen Prozess zur Regulierung von Verkehrslärm häufig Anwendung gefunden hat. Der Schienenbonus gewichtet die Lärmbelastungsberechnung durch den Schienenverkehr durch einen vorab definierten Faktor minder [25].

### 3.3 Fluglärm

Empfehlungen der WHO für die Lärmbelastung durch Luftverkehr:

► **Durchschnittliche Belastung ( $L_{den}$ )**

Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche Lärmbelastung durch Luftverkehr einen Lärmpegel von **45 dB(A)  $L_{den}$**  nicht zu überschreiten, weil Luftverkehr oberhalb dieses Dauerschallpegels mit schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.

► **Nächtliche Dauerschallbelastung ( $L_{night}$ )**

Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche nächtliche Lärmbelastung durch Luftverkehr einen Lärmpegel von **40 dB(A)  $L_{night}$**  nicht zu überschreiten, da nächtlicher Luftverkehr oberhalb dieses Dauerschallpegels mit Beeinträchtigungen des Schlafs verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.

► **Lärminderungsmaßnahmen des Luftverkehrs**

Die WHO empfiehlt, dass die Politik geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Lärmbelastung durch Luftverkehr oberhalb der empfohlenen Leitlinienwerte ergreift, um die gesundheitlichen Auswirkungen durch Luftverkehrslärm zu mindern. Als konkrete Maßnahmen empfiehlt die WHO Luftverkehrslärm durch **Veränderungen in der Infrastruktur** zu verringern. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.

#### Relevante Ergebnisse im Detail

Im Hinblick auf die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den gesundheitlichen Auswirkungen durch Fluglärm sind die Ergebnisse von vier entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen (chronische Lärmbelästigung, ischämische Herzerkrankungen, kognitive Beeinträchtigung, Schlafstörungen) sowie einer wichtigen gesundheitlichen Auswirkungen (Fettleibigkeit) besonders hervorheben.

Die Bestimmung des Leitlinienwerts für die durchschnittliche Lärmbelastung in  $L_{den}$  durch den Luftverkehr erfolgte auf Basis der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkung der chronischen Lärmbelästigung. Der relevante absolute Risikoanstieg<sup>8</sup> wird bei einem Dauerschallpegel von 45 dB(A)  $L_{den}$  des Luftverkehrs überschritten. In die Berechnung des Expositions-Wirkungszusammenhangs gingen 12 Untersuchungen mit insgesamt 17.094 Teilnehmenden zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und der chronischen Lärmbelästigung ein. Die Evidenz wird von den Expert\*innen der WHO als moderat eingestuft.

Der relevante Risikoanstieg<sup>9</sup>, lärmbedingt an einer ischämischen Herzkrankheit zu erkranken, ist bei einer durchschnittlichen Fluglärmbelastung von 52 dB(A)  $L_{den}$  erreicht. Das RR pro Anstieg des Dauerschallpegels um 10 dB(A)  $L_{den}$  beträgt 1,09 (95 % CI: 1,04–1,15). Ausgangspunkt der Berechnung ist der gewichtete Durchschnitt der niedrigsten durchschnittlichen Exposition aller einbezogenen Studien (47 dB(A)  $L_{den}$ ). Die Evidenz wird von den Expert\*innen der WHO als sehr niedrig eingestuft.

<sup>8</sup> Ein Anteil von 10% hoch belastigter Personen in der untersuchten Bevölkerung, die von Fluglärm betroffen ist.

<sup>9</sup> Anstieg des relativen Risikos für die Inzidenz ischämischer Herzerkrankungen von 5%.



Die Erkenntnisse zur kognitiven Beeinträchtigung beruhen auf dem Zusammenhang zwischen Fluglärm und Lesekompetenz und Hörverständnis bei Kindern. Ein relevanter Risikoanstieg<sup>10</sup> für eine lärmbedingte kognitive Beeinträchtigung durch Fluglärm ist bei einem Dauerschallpegel von 55 dB(A)  $L_{den}$  überschritten. Als Expositionsort ist hierbei, anders als bei den anderen gesundheitlichen Auswirkungen, der Ort der Beschulung und nicht das Eigenheim. In die Bewertung des Zusammenhangs wurden insgesamt 14 Studien einbezogen und die Evidenz wird von der WHO als moderat eingestuft.

Neben den entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen gibt es für den Fluglärm auch relevante Erkenntnisse im Hinblick auf die wichtigen gesundheitlichen Auswirkungen. Im Einzelnen wird hier von der WHO insbesondere der Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber Fluglärm und der Fettleibigkeit (gemessen durch den Hüftumfang) benannt. Die Erkenntnisse gehen auf eine Studie von Eriksson und Kollegen (2014) zurück und die Gewissheit der Erkenntnis dieser Studie wird als moderat eingestuft. Da die Spanne der einbezogenen Exposition zwischen 48 dB(A) und 65 dB(A)  $L_{den}$  liegt, bietet die ausgesprochene Empfehlung für die durchschnittliche Belastung durch den Fluglärm (45 dB(A)  $L_{den}$ )  $L_{den}$  einen ausreichenden Schutz vor möglichen gesundheitlichen Auswirkungen hinsichtlich der Fettleibigkeit.

Der Anteil an hoch schlafgestörten Menschen liegt bei einer durchschnittlichen nächtlichen Dauerschallbelastung von 40 dB(A)  $L_{night}$  durch Fluglärm bei 11 %. Dies bedeutet, dass der relevante absolute Risikoanstieg von 3 % bereits unterhalb 40 dB(A)  $L_{night}$  überschritten wird. Auf die Empfehlung eines Wertes unterhalb von 40 dB(A)  $L_{night}$  wurde dennoch verzichtet, da unterhalb von 40 dB(A) eine Extrapolation der Expositionswerte notwendig gewesen wäre. Dies hätte zu einem deutlichen Anstieg der Unsicherheit bei der Bemessung der Exposition geführt. Insgesamt wurden 6 Studien mit 6.371 Teilnehmenden in die Berechnung der Exposition-Wirkungsfunktion einbezogen. Die Empirischen Evidenz wird von der WHO als moderat eingestuft.

Im Hinblick auf die Effektivität von Lärminderungsmaßnahmen sind 7 Studien mit 4.823 Teilnehmenden in die Analyse einbezogen worden. Im Einzelnen untersuchten die Studien die Effektivität von Minderungsmaßnahmen am Expositionsort und auf dem Weg zwischen Quelle und Immissionsort. Maßnahmen an der Quelle, wie beispielsweise das Öffnen bzw. Schließen von Landebahnen oder die Änderung von Flugrouten, können nicht nur die Lärmexposition mindern, sondern auch zu einer Minderung der chronischen Lärmbelastung und kognitiven Beeinträchtigung führen. Die Expert\*innen der WHO stufen die Evidenz als moderat ein.

#### Fachliche Einordnung

Neben dem Straßenverkehr ist der Luftverkehr die Verkehrslärmquelle mit den meisten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen. Insgesamt konnten 25 Studien für die entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen berücksichtigt werden. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Studien zum Zusammenhang zwischen ischämischen Herzerkrankungen und der durchschnittlichen Fluglärmbelastung, welche als Messgröße auf Grund ihres Studiendesigns die Prävalenz oder die Mortalität zu Grunde legen [28–36]. Dies führt dazu, dass sie nicht in die Bewertung des exakten maximalen Expositionswerts für ischämische Herzerkrankungen mit eingeflossen sind, aber dennoch als wichtige Hinweise für den Zusammenhang zwischen der Fluglärmexposition und ischämischen Herzerkrankungen gewertet werden können. Die meisten dieser Studien haben ein Querschnittsdesign, einige wenige verfolgen einen ökologischen Ansatz. Gemäß der GRADE-Methodologie zur Bewertung der Evidenz des Zusammenhangs folgte aus einer Studierendurchführung mit Querschnittsdesign zwingend eine initiale Einstufung der Evidenz als niedrig<sup>11</sup>. Dies führt zu einer konservativen Bewertung der Gewissheit des wissenschaftlichen Zusammenhangs. Es ist kritisch in Frage zu stellen, in wie weit diese niedrige Einstufung der Evidenz für Studien aus dem Forschungsfeld Umwelt und Gesundheit, deren Untersuchungsobjekt meist die Wirkung einer real in der Umwelt vorhanden und nicht isoliert zu betrachtenden Exposition darstellt, gerechtfertigt ist [37]. Unabhängig davon sind die Ergebnisse ein wichtiger Erkenntnisfortschritt für

10 Verzögerung des Erwerbs von Lesekompetenz und Hörverständnis um einen Monat.

11 Studien mit ökologischem Design wurden entsprechend des GRADE-Ansatzes initial als „sehr niedrig“, Studien mit Querschnitt-Design als „niedrig“ im Hinblick auf die Evidenz eingestuft.

die Bewertung des Zusammenhangs zwischen ischämischen Herzerkrankungen und Fluglärms, da auch aktuelle Studien und Metaanalysen, welche noch nicht in den Metaanalysen der WHO berücksichtigt werden konnten, vergleichbare Zusammenhänge bei ähnlich hoher durchschnittlicher Fluglärmbelastung bestätigen [17; 18].

Ähnlich dem Schienenverkehrslärm zeigt sich auch beim Fluglärm, dass bei gleicher Fluglärmbelastung die chronische Lärmbelastigung zugenommen hat. Bei einem Vergleich der aktuellen Expositions-Wirkungsfunktion der WHO mit der Expositions-Wirkungsfunktion von Miedema und Oudshoorn [24], die in die EU-Umgebungslärmrichtlinie eingegangen ist, zeigt sich, dass auch die Belästigung durch den Fluglärm bei gleicher Belastung heute in etwa 10% höher liegt als zu Beginn der 2000er Jahre. Die Erkenntnisse beider Verkehrsträger bestätigen den Überarbeitungsbedarf der EU-Umgebungslärmrichtlinie. Die Notwendigkeit zur Modifizierung der Richtlinie hat auch die Europäische Kommission erkannt und entwickelt derzeit den Anhang III der Umgebungslärmrichtlinie weiter. Das Umweltbundesamt begrüßt, dass die neuen WHO Leitlinien ein zentraler Baustein dieses Überarbeitungsprozesses ist.

Des Weiteren ist auch für den Fluglärm festzuhalten, dass durch den Fokus der Leitlinien auf Dauerschallgeräuschindikatoren keine Erkenntnisse zu physiologischen Auswirkungen von Fluglärm auf den Schlaf berücksichtigt werden konnten. Der Einbezug von Maximalpegeln durch Einzelschallereignisse und

deren gesundheitliche Auswirkungen ist jedoch ein wichtiger Bestandteil der umfassenden Darstellung der möglichen gesundheitlichen Auswirkungen des Fluglärms. Wie im Kapitel zum Schienenverkehr bereits eingeführt, erkennt die WHO die Wichtigkeit von Einzelschallereignis-Geräusch-Indikatoren in Ihren Leitlinien an [1, S. 75]. Das Umweltbundesamt teilt die Einschätzung der WHO zur Relevanz von Einzelschall-Geräusch-Indikatoren bei intermittierenden Geräuschquellen, da der Zusammenhang zwischen nächtlichen Aufwachreaktionen und Einzelschallereignissen des Luftverkehrs gut belegt ist [21; 38; 39].

Bei einem Vergleich der Empfehlungswerte der einzelnen Verkehrslärmquellen zeigt sich, dass der Fluglärm bei gleicher durchschnittlicher Belastung in Zusammenhang mit den umfangreichsten gesundheitlichen Auswirkungen steht. Die Empfehlungen fallen mit 45 dB(A)  $L_{den}$  für den ganzen Tag und 40 dB(A)  $L_{night}$  für die Nacht am niedrigsten aus. Aus Sicht des Umweltbundesamts verdeutlicht dies die hohe Handlungsrelevanz bei der Umsetzung der Maßnahmen zu Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm. Die aktuellen Empfehlungen der WHO verleihen den zentralen Forderungen des Umweltbundesamt für eine Senkung der Schutzzonengrenzwerte im Gesetz zum Schutz vor Fluglärm [40] sowie dem nächtlichen Ruhen des regulären Flugbetriebs zwischen 22.00 Uhr und 6.00 Uhr an stadtnahen Flughäfen noch einmal Nachdruck.

### 3.4 Lärm von Windenergieanlagen

Empfehlungen der WHO für die Lärmbelastung durch Windenergieanlagen:

- ▶ **Durchschnittliche Belastung ( $L_{den}$ )**  
Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche Lärmbelastung durch Windenergieanlagen einen Lärmpegel von **45 dB(A)  $L_{den}$**  nicht zu überschreiten, weil Lärm von Windenergieanlagen oberhalb dieses Dauerschallpegels mit schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **bedingt** ein.
- ▶ **Nächtliche Dauerschallbelastung ( $L_{night}$ )**  
Die WHO spricht für die durchschnittliche nächtliche Lärmbelastung durch Windenergieanlagen keine Empfehlung aus, da zum Zeitpunkt der Entwicklung der Leitlinien nicht genügend wissenschaftliche Erkenntnisse vorlagen.
- ▶ **Lärmminderungsmaßnahmen für Lärm von Windenergieanlagen**  
Die WHO empfiehlt, dass die Politik geeignete Maßnahmen zur Verringerung der Lärmbelastung durch Windenergieanlagen oberhalb der empfohlenen Leitlinienwerte ergreift, um die gesundheitlichen Auswirkungen durch den Lärm von Windenergieanlagen zu mindern. Die WHO spricht keine konkreten Maßnahmen aus, da nicht genügend wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, um eine Maßnahme gegenüber anderen bevorzugt zu empfehlen. Die WHO stuft diese Empfehlung als **bedingt** ein.

#### Relevante Ergebnisse im Detail

Die Bemessung des Leitlinienwerts für die durchschnittliche Lärmbelastung von Windenergieanlagen  $L_{den}$  erfolgt auf Basis der entscheidenden gesundheitlichen Auswirkung der chronischen Lärmbelastung. Der relevante absolute Risikoanstieg von 10 % HA wurde bei einer durchschnittlichen Dauerschallbelastung von 45 dB(A)  $L_{den}$  überschritten. Insgesamt wurden 4 Studien mit 2.481 Teilnehmenden in die Berechnung der Expositions-Wirkungsfunktionen einbezogen. Zwei der Studien beinhalteten Expositions-Wirkungsfunktionen [41; 42]. Auf Grund der ungleichen Konzeptualisierung der beiden vorhandenen Expositions-Wirkungsfunktionen wurden diese von der WHO nicht aggregiert, sondern einzeln dargestellt. Die Evidenz wird von den Expert\*innen der WHO als niedrig eingestuft.

Die Metaanalysen zu den anderen entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen ließen keine belastbare Quantifizierung weiterer Expositions-Wirkungszusammenhänge zu. Dies gilt insbesondere auch für die Wirkungen der durchschnittlichen nächtlichen Belastung durch den Lärm von Windenergieanlagen auf den Schlaf. Zwar konnten sechs Querschnittstudien in die Metaanalyse einbezogen werden. Aber aufgrund des großen Risikos für Verzerrungen und der hohen Heterogenität der Erkenntnisse hat die WHO keine Empfehlung für die durchschnittliche nächtliche Belastung  $L_{night}$  durch Lärm von Windenergieanlagen ausgesprochen.



### Fachliche Einordnung

Die Empfehlungen für die Lärmbelastung durch Windenergieanlagen gehörten im deutschsprachigen Raum zu den am häufigsten medial aufgegriffenen Inhalten der neuen WHO Leitlinien für Umgebungslärm. Dies kann einerseits mit der hohen Relevanz der Windenergie für die Energiewende zu tun haben, oder andererseits auf die stetig wachsenden Zahl an wissenschaftlichen Untersuchungen und Übersichtsarbeiten zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Windenergieanlagen zurückzuführen sein, die in der jüngeren Vergangenheit veröffentlicht worden sind [22; 43–47]. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Metaanalyse stand den Expert\*innen der WHO jedoch nur eine sehr geringe Zahl an Studien zur Verfügung, um den Zusammenhang zwischen Lärm von Windenergieanlagen und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen zu quantifizieren (siehe auch *Entwicklungsprozess der Leitlinien*). Aufgrund dieser geringen Zahl an wissenschaftlichen Erkenntnissen, die einbezogen werden konnten, verzichtete die WHO auf eine Empfehlung für die durchschnittliche nächtliche Lärmbelastung durch Windenergieanlagen  $L_{night}$  und sprach für die ganztägige durchschnittliche Lärmbelastung  $L_{den}$  lediglich eine bedingte Empfehlung aus.

Eine Expositions-Wirkungsfunktion wurde ausschließlich für den Zusammenhang zwischen dem Lärm von Windenergieanlagen und der chronischen Belästigung angegeben. Auf Grund der geringen Zahl an Lärmbelastigungsuntersuchungen von Windenergieanlagen wurde bei der Bestimmung der Expositions-Wirkungsfunktion explizit auch Belästigungsurteile, die nach dem Außenbereich gefragt haben, mit einbezogen. Es ist nicht auszuschließen, dass der Aufenthaltsort (Außen- bzw. Innenbereich) zu einer unterschiedlichen Belästigungsbewertung führt, da einerseits die Exposition durch Hörschall von Windenergieanlagen im Außenbereich gegebenenfalls höher ist und andererseits die Akzeptanz von Geräuschen in Außenumfeld sich gegenüber dem Innenumfeld unterscheiden kann. Das Umweltbundesamt erachtet die Expositions-Wirkungsfunktion für die Belästigungswirkung durch Lärm von Windenergieanlagen daher nur eingeschränkt allgemein anwendbar.

Dies bestätigt sich auch im Hinblick auf die Verwendung des Geräuschindicators  $L_{den}$ . Die akustischen Charakteristiken von Windenergieanlagen (An- und Abschaltung in Abhängigkeit von Windstärke, Tageszeiten; und Windrichtung) haben zur Folge, dass ein durchschnittlicher

gewichteter Dauerschallpegel  $L_{den}$  nur begrenzt in der Lage ist, die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm durch Windenergieanlagen angemessen abzubilden. Zudem ist die Konvertierung von Ergebnissen, die auf anderen Geräuschindikatoren beruhen (z. B. dem  $L_{Aeq}$ ), nicht ohne weiteres möglich bzw. mit größeren Unsicherheiten verbunden. Dies erkennt auch die WHO in ihren neuen Leitlinien an und hält daher fest: „[...] it may be concluded that the acoustical description of wind turbine noise by means of  $L_{den}$  or  $L_{night}$  may be a poor characterization of wind turbine noise and may limit the ability to observe associations between wind turbine noise and health outcomes“ [1, S. 86].

Bei einer Rückkonvertierung des Leitlinienwerts von 45 dB(A)  $L_{den}$  in den für Deutschland bei Windenergieanlagen relevanten Geräusch-Indikator  $L_{r,N}$  entspricht der Leitlinienwert in etwa den gängigen Regulierungspraktiken für Dorf- und Mischgebiete. Die nationalen Vorgaben der Immissionsrichtwerte für allgemeine Wohngebiete entsprechend der TA Lärm sind überdies 5 dB anspruchsvoller.

Eine weitere wichtige Einschränkung betrifft die einbezogenen möglichen Emissionen von Windenergieanlagen. So wurden in den aktuellen Leitlinien ausschließlich mögliche gesundheitliche Auswirkungen durch den emittierten Hörschall von Windenergieanlagen untersucht. Weitere Emissionen wie tieffrequente, impulsartige oder amplituden-modulierte Geräusche sowie Infraschall konnten nicht berücksichtigt werden. Das Umweltbundesamt hat im Jahr 2016 eine umfangreiche Einschätzung der möglichen gesundheitlichen Effekte von Windenergieanlagen veröffentlicht. In dieser Publikation werden auch die möglichen Auswirkungen von Infraschall durch Windenergieanlagen thematisiert [48]. Im Kontext der großen Wichtigkeit der Windenergie für die Energiewende begrüßt das Umweltbundesamt den Einbezug von Windenergieanlagen in die WHO Leitlinien für Umgebungslärm und trägt mit dem aktuellen Forschungsvorhaben zur „Belästigungswirkung von Windenergieanlagen“ zur wachsenden Zahl an wissenschaftlichen Erkenntnissen aktiv bei. Auf Grund der fehlenden Möglichkeit aktuelle Erkenntnisse sowohl für den Hörschall als auch im Hinblick auf tieffrequente Geräusche und Infraschall mit einzubeziehen [22; 34–38] und der Herausforderungen der Umrechnung von Geräuschindikatoren bei Windenergieanlagen hält das Umweltbundesamt die bedingte Empfehlung der WHO für berechtigt.

### 3.5 Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten

Empfehlungen der WHO für die Lärmbelastung während der Ausübung von Freizeitaktivitäten:

- ▶ **Durchschnittliche Belastung ( $L_{Aeq,24h}$ )**  
Die WHO empfiehlt für die durchschnittliche Belastung von Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten einen Pegel von **70 dB(A)**  $L_{Aeq,24h}$  nicht zu überschreiten, weil Lärm während der Ausführung von Freizeitaktivitäten oberhalb dieses Dauerschallpegels mit schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist. Die WHO stuft diese Empfehlung als **bedingt** ein.
- ▶ **Einzelerschallereignisse und Impulsschall**  
Für die Belastung durch Einzelerschallereignisse und Impulsschall während der Ausübung von Freizeitaktivitäten empfiehlt die WHO die Lärmpegel bestehender Leitlinienwerke und gesetzlicher Vorgaben nicht zu überschreiten, um das Risiko einer dauerhaften Gehörschädigung von Kindern und Erwachsenen zu minimieren. Die WHO stuft diese Empfehlung als **bedingt** ein.
- ▶ **Lärmminderungsmaßnahmen für Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten**  
Um mögliche gesundheitliche Auswirkungen durch Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten zu mindern, empfiehlt die WHO vorsorglich, dass Entscheidungsträger\*innen Maßnahmen initiieren um eine Lärmbelastung oberhalb der empfohlenen Leitlinienwerte zu vermeiden.

Die ist besonders wichtig, da eine große Zahl an Menschen einem erhöhten Risiko für dauerhafte Gehörschädigungen durch die Verwendung von Musikabspielgeräte über Kopfhörer ausgesetzt sind. Die WHO spricht keine konkreten Maßnahmen aus, da nicht genügend wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, um eine Maßnahme gegenüber eine anderen bevorzugt zu empfehlen. Die WHO stuft diese Empfehlung als **stark** ein.

#### Relevante Ergebnisse im Detail

Auf Grund der geringen Zahl an wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen beruhen die Empfehlungen zur Lärmbelastung während der Ausübung von Freizeitaktivitäten auf einem anderen Ansatz als die restlichen Empfehlungen zum Umgebungslärm. So bezogen sich die Expert\*innen der WHO bei der Entwicklung der Empfehlungen sowohl auf Erkenntnisse zur Vermeidung von dauerhaften Gehörschädigungen aus dem Arbeitsschutz als auch auf die WHO Leitlinien für Community Noise [2]. In keiner der entsprechenden Metaanalysen konnte ein Expositions-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten und gesundheitlichen Auswirkungen berechnet werden. Insgesamt konnten drei Studien mit 484 Teilnehmenden zum Zusammenhang von Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten und dauerhaften Gehörschädigung und Tinnitus berücksichtigt werden. Die Evidenz wurde von der WHO als sehr niedrig eingestuft. Die Festsetzung des Leitlinienwerts von 70 dB(A)  $L_{Aeq,24h}$  erfolgte daher beruhend auf der EU-Richtlinie zu den Mindestanforderungen für Gesundheit und Sicherheit (EU 2003/10/EC) und der darin enthaltenden ISO Norm 1999, sowie den Empfehlungen der WHO zur Lärmbelastung durch Industrieanlagen, gewerbliche Einkaufszentren und Verkehrsflächen [2; 49; 50].



### Fachliche Einordnung

Die Empfehlungen der WHO zum Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten nehmen eine Sonderstellung in den neuen Leitlinien für Umgebungslärm in Europa ein. Die WHO ist mit dem Einbezug von Lärmbelastung während der Ausübung von Freizeitaktivitäten der Aufforderung ihrer Mitgliedsstaaten im Rahmen der fünften Ministerkonferenz zu Umwelt und Gesundheit gefolgt, welche bestimmten, dass neue WHO Leitlinien auch Lärm von Spielzeugen, Freizeitaktivitäten, wie Stadion- oder Diskothekenbesuchen, oder Musikabspielgeräten, die über Kopfhörer angehört werden, beinhalten sollen.

Im Kontext des anthropogenen Umgebungslärms stellen die Geräusche während der Ausübung von Freizeitaktivitäten jedoch eine wirkungsbezogene Besonderheit dar. Anders als die anderen Umgebungslärmquellen (Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm, Fluglärm, Lärm von Windenergieanlagen), die in den neuen Leitlinien quellspezifisch berücksichtigt werden, stellen sie keine unerwünschten Geräusche (also Lärm im definitorischen Sinne) für die belasteten Personen dar, sondern sind in der Regel Geräusche, die von den belasteten Person gewollt wahrgenommen werden. Hierdurch entsteht eine andere Wirkungshierarchie, in der insbesondere körperliche Auswirkungen wie Gehörschäden und Tinnitus im Fokus stehen. Es handelt sich also klar nicht um Umgebungslärm.

Dieser definitorische Unterschied ist insbesondere vor der im englischen Original verwendeten Terminologie („leisure noise“) hervorzuheben. Die eher sperrige Umschreibung der „Lärmbelastung während der Ausübung von Freizeitaktivitäten“ ist gewählt, um eine etwaige Verwechslung mit der möglichen Übersetzung „Freizeitlärm“ zu vermeiden. Die hier empfohlenen Werte beziehen sich nicht auf die Lärmbelastung durch die Nutzung von z. B. Sport- und Freizeitanlagen durch andere Menschen.

Da die Empfehlungen nicht in den Bereich des Umgebungslärms fallen, erfolgt keine weitere fachliche Einordnung der Leitlinienwerte zu dieser Empfehlung. Stattdessen verweist das Umweltbundesamt auf ein weiteres kürzlich veröffentlichtes Regelwerk der WHO, das sich explizit mit den Wirkungen von Musikabspielgeräten beschäftigt [51].

Grundsätzlich begrüßt das Umweltbundesamt die Aktivitäten der WHO, Menschen auch vor Geräuschen während der Ausübung von Freizeitaktivitäten angemessen zu schützen. Für zukünftige Leitlinien ist anzuregen, dies auf Grund der wirkungsbezogenen Unterschiede, in getrennten Empfehlungswerken fortzusetzen.



## 4 Fachliche Gesamteinordnung

Die neuen WHO Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region sind ein wichtiger Meilenstein für die gesundheitsbezogene Bewertung des Umgebungslärms. Erstmals werden in einem Leitlinienset der WHO quellspezifische Empfehlungen gegeben. Die Differenzierung der Empfehlung für unterschiedliche Umgebungslärmquellen ist ein wichtiger Fortschritt für die wirkungsgerechte Betrachtung des Umgebungslärms. Eine quellspezifische Betrachtung ermöglicht es, die Unterschiede in den gesundheitlichen Auswirkungen auf Grund von Unterschieden in den quellspezifischen Geräuscharakteristiken sachgerecht abzubilden. Darüber hinaus beruhen die Empfehlungen auf einem standardisierten wissenschaftlichen Verfahren, dessen Kriterien und Berechnungen einheitlich angewendet werden. Dies erhöht die Objektivität und Transparenz des Leitlinienentwicklungsprozess und führt so zu neuen Qualitätsstandards von Leitlinien innerhalb des Themenbereichs Umwelt und Gesundheit. Im Einklang mit den neuen methodischen Verfahren beruhen die Empfehlungen auf der Berechnung von exakten maximalen Expositionswerten für alle entscheidenden gesundheitlichen Auswirkungen. Die Definition von exakten maximalen Expositionswerten für einzelne gesundheitliche Auswirkungen sowie die Angabe von Exposition-Wirkungsfunktion der entsprechenden Zusammenhänge sind eine weitere Neuheit von hoher Relevanz, da so eine quellspezifische Abschätzung einzelner gesundheitlicher Auswirkungen erfolgen kann. Insgesamt beinhalten die neuen Leitlinien nicht nur mehr gesundheitliche Auswirkungen, sondern auch die einbezogenen Messmethoden wurden erweitert. So wurden nach Möglichkeit neben der Prävalenz, auch die Inzidenz und Mortalität zur Bemessung des Zusammenhangs zwischen Exposition und gesundheitlicher Auswirkung berücksichtigt. Dies ermöglicht nicht nur eine präzisere Abschätzung zwischen der Exposition und den jeweiligen Wirkungen, sondern führt auch zu einem umfassenderen Einbezug vorhandener Studien. Die Ausweitung der einbezogenen gesundheitlichen Auswirkungen verdeutlicht zudem die vielfältigen negativen gesundheitlichen Auswirkungen, die eine dauerhafte Lärmbelastung durch Umgebungslärmquellen zur Folge haben kann.

Die neuen WHO Leitlinien für Umgebungslärm definieren sowohl Empfehlungen für die durchschnittliche Ganztagslärmbelastung  $L_{den}$ , als auch für die durchschnittliche nächtliche Lärmbelastung  $L_{night}$ . Die Verwendung der Dauerschallindikatoren  $L_{den}$  und  $L_{night}$  ermöglicht eine hohe Anschlussfähigkeit an die bestehende europäische Gesetzgebung, da auch die EU-Umgebungslärmrichtlinie den  $L_{den}$  und den  $L_{night}$  als Geräuschindikatoren verwendet. Der Fokus auf Geräuschindikatoren, welche die durchschnittliche Dauerschallbelastung angeben, bringt jedoch auch Einschränkungen mit sich. Beispielsweise lassen sich akute gesundheitliche Auswirkungen, wie physiologisch gemessene Aufwachreaktionen, nicht sinnvoll in Relation zu nächtlichen Dauerschallpegeln setzen. Dies ist ein Grund dafür, dass in den aktuellen Leitlinien vornehmlich Studien, welche selbstberichtete Schlafstörungen als Maß für die gesundheitlichen Auswirkungen auf den Schlaf verwenden, berücksichtigt werden konnten. Insbesondere bei Quellen mit intermittierenden Geräuschcharakteristiken ist es jedoch wichtig, neben durchschnittlichen Belastungspegeln auch Einzelschallereignisse und deren Maximalpegel zu berücksichtigen, um die gesundheitlichen Auswirkungen dieser Quellen angemessen abbilden zu können.

Vor dem Hintergrund des Nicht-Einbezugs von akuten physiologischen Wirkungen auf den Schlaf, bekräftigt das Umweltbundesamt die Aussage der WHO, dass die empfohlenen Werte aus den Night Noise Guidelines [3] weiterhin Bestandskraft besitzen.

Die neuen WHO Leitlinien zeigen darüber hinaus, dass auch weiterhin Forschungsbedarf in Hinblick auf den Zusammenhang verschiedener Umgebungslärmquellen und deren möglichen gesundheitlichen Auswirkungen besteht. Im Einzelnen sind hier insbesondere der Forschungsbedarf für Langzeitstudien zum Zusammenhang von Schienenverkehrslärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, von Lärm durch Windenergieanlagen und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen, von Lärm durch Industrie und Gewerbeanlagen und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen, sowie der Betrachtung der gemeinsamen Auswirkung mehrerer Lärm und Umweltexpositionen zu nennen:

- ▶ Die Untersuchung des Zusammenhangs von Schienenverkehrslärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist von großer Relevanz, um eine quellenspezifische Betrachtung des Verkehrslärms auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu ermöglichen. Die quellenspezifische Bewertung ist aus Sicht des Umweltbundesamts ein wichtiger Baustein, um die Betrachtung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in den Anhang III der Umgebungslärmrichtlinie mit aufnehmen zu können.
- ▶ Die Langzeituntersuchung des Zusammenhangs von Lärm durch Windenergieanlagen und verschiedenen möglichen gesundheitlichen Auswirkungen ist ein wichtiges Element, um eine Bewertung der möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm durch Windenergieanlagen sowohl durch hörbare und tieffrequente Geräusche bzw. Infraschall vornehmen zu können.
- ▶ Die weitere Beforschung des Zusammenhangs von Lärm durch Industrie- und Gewerbeanlagen und möglichen gesundheitlichen Auswirkungen ist dringend erforderlich, um eine gesundheitsbezogene Abschätzung zu ermöglichen. Die WHO hat im Rahmen der aktuellen Leitlinien Lärm von Industrie- und Gewerbeanlagen nur in Form von Windenergieanlagen aufgreifen können, da für andere Anlagen nicht genügend wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen.
- ▶ Die wirkungsgerechte Betrachtung unterschiedlicher Lärmquellen und Umweltextpositionen, die zur gleichen Zeit wirken, ist notwendig, um ein ganzheitliches Bild der Belastungen entwickeln zu können, dem die Bevölkerung ausgesetzt ist. Die Untersuchung von multiplen Umwelteinflüssen (z. B. durch mehrere Lärmquellen zur gleichen Zeit oder die Belastung durch Lärm sowie Luftschadstoffe) ist insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Urbanisierung von zentraler Bedeutung. Dies hat auch die WHO erkannt und empfiehlt die Entwicklung umfassender Gesamtextpositionsmodelle.
- ▶ Eine Überarbeitung der relevanten Vorschriften zur Bekämpfung des Verkehrslärms von Straßen- und Schienenwegen für einen angemessenen Schutz der Bevölkerung vor möglichen gesundheitlichen Auswirkungen durch Straßen- und Schienenverkehrslärm. Aktuell werden in den Vorschriften Schwellenwerte von 70 dB(A) am Tag  $L_{day}$  und 60 dB(A) in der Nacht  $L_{night}$  für die lärmbedingte Gesundheitsgefährdung definiert. Die empfohlenen gesundheitsbezogenen Leitlinienwerte der WHO für eine maximale durchschnittliche Belastung durch den Straßen- und Schienenverkehrslärm, um negative gesundheitliche Auswirkungen zu vermeiden liegen sowohl für den Tag als auch für die Nacht um mindestens 10–15 dB(A) niedriger.
- ▶ Eine Anpassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm und das Ruhen des regulären nächtlichen Flugbetriebs zwischen 22.00 Uhr und 06.00 Uhr an stadtnahen Flughäfen. Die im Fluglärmschutzgesetz definierten Schutzzonengrenzwerte liegen 10 bis teilweise 15 dB(A) oberhalb der von der WHO empfohlenen Leitlinienwerte für den Fluglärm. Eine Anpassung ist notwendig um einen angemessenen Schutz der Bevölkerung vor den negativen Auswirkungen durch Fluglärm zu gewährleisten.
- ▶ Eine Aktualisierung der Expositions-Wirkungskurven für die Belastung durch den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr und der chronischen Lärmbelastung, die aktuell im politischen Diskurs genutzt werden.
- ▶ Die Entwicklung eines Forschungsprogramms zur Untersuchung des Zusammenhangs von langfristiger Schienenverkehrslärmbelastung und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, um eine quellenspezifische Abschätzung für die Auswirkungen des Verkehrslärms auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu ermöglichen.

Insgesamt verdeutlichen die neuen WHO Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region den dringenden Handlungsbedarf, um einen umfassenden Schutz der Bevölkerung vor Straßen-, Schienen, Fluglärm sowie Lärm durch Windenergieanlagen zu gewährleisten.

Beruhend auf den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und quellenspezifischen Leitlinienwerten der WHO empfiehlt das Umweltbundesamt:

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] WHO Regional Office for Europe (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [2] WHO (1999). Guidelines for community noise. Geneva: World Health Organization.
- [3] WHO Regional Office for Europe (2009). Night noise guidelines for Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [4] WHO (2014). WHO handbook for guideline development, second edition. Geneva: World Health Organization.
- [5] Héroux ME, Verbeek J (2018). Results from the search for available systematic reviews and Metaanalyses on environmental noise. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [6] Basner M, McGuire S (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and effects on sleep. *Int J Environ Res Public Health*. 15(3):pii: E519.
- [7] Brown AL, van Kamp I (2017). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review of transport noise interventions and their impacts on health. *Int J Environ Res Public Health*. 14(8). pii: E873.
- [8] Clark C, Paunovic K (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and cognition. *Int J Environ Res Public Health*. 15(2). pii: E285.
- [9] Clark C, Paunovic K (2018). WHO Environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and quality of life, wellbeing and mental health. *Int J Environ Res Public Health*.
- [10] Guski R, Schreckenberger D, Schuemer R (2017). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and annoyance. *Int J Environ Res Public Health*. 14(12).
- [11] Nieuwenhuijsen MJ, Ristovska G, Dadvand P (2017). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and adverse birth outcomes. *Int J Environ Res Public Health*. 14(10). pii: E1252.
- [12] Śliwińska-Kowalska M, Zaborowski K (2017). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and permanent hearing loss and tinnitus. *Int J Environ Res Public Health*. 14(10). pii: E1139.
- [13] van Kempen E, Casas M, Pershagen G, Foraster M (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: a systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: a summary. *Int J Environ Res Public Health*. 15(2). pii: E379.
- [14] Huang X, Lin J, Demner-Fushman D (2006). Evaluation of PICO as a knowledge representation for clinical questions. *AMIA Annu Symp Proc*. 359–63.
- [15] Morgan RL, Thayer KA, Bero L, Bruce N, Falck-Ytter Y, Ghersi D et al. (2016). GRADE: Assessing the quality of evidence in environmental and occupational health. *Environ Int*. 2016;92–93:611–6. doi:10.1016/j.envint.2016.01.004.
- [16] Héroux ME, Verbeek J (2018b). Methodology for systematic evidence reviews for the WHO environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [17] Vienneau, D, Schindler, C, Perez, L, Probst-Hensch, N, Röösli, M. The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environmental research*. 2015;138:372-380.
- [18] Kaltenbach, M, Maschke, C, Heß, F, Niemann, H, Führ, M. Health impairments, annoyance and learning disorders caused by aircraft noise: synopsis of the state of current noise research. *International Journal of Environmental Protection*. 2016;6(1):15–46.
- [19] Schreckenberger, D., Faulbaum, F., Guski, R., Ninke, L., Peschel, C., Spilski, J. & Wothge, J. (2015). Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 3). Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH.
- [20] Seidler, A., Wagner, M., Schubert, M., Dröge, P., Hegewald, J. (2015). Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 6). Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH.
- [21] Müller, U., Aeschbar, D., Elmenhorst, E.-M., Mendolia, F., Quehl, J., Hoff, A., Rieger, I., Schmitt, S., Littel, W. (2015). Fluglärm und nächtlicher Schlaf. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 4). Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH.
- [22] Michaud D (2015). Self-reported and objectively measured outcomes assessed in the Health Canada Wind Turbine Noise and Health Study: results support an increase in community annoyance. In: Proceedings. 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2015 (INTER-NOISE 2015), San Francisco, USA, 9–12 August 2015. Washington DC: Institute of Noise Control Engineering of the USA.
- [24] Miedema, HME, Oudshoorn, CGM. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental health perspectives*. 2001;109(4):409–416.
- [25] Schuemer R, Schuemer-Kohrs A (1991). The nuisance of rail traffic noise in comparison with other sources of noise, comments on research results. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung [Magazine for Combating Noise]*. 38:1–9.

- [26] Müller U, Elmenhorst E, Maass H et al. (2010): Verbundprojekt: DEUFRAKO/RAPS – Railway noise (and other modes) annoyance, performance, sleep: wirkungsorientierte Bewertung unterschiedlicher Verkehrslärmarten. Teilvorhaben DLR: Metaanalyse und Feldstudie. Abschlussbericht. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. in der Helmholtz Gemeinschaft. <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb10/639593747.pdf> (Zugriff am: 20.11.2015).
- [27] Basner, M.; Müller, U.; Elmenhorst, E.-M. Single and combined effects of air, road, and rail traffic noise on sleep and recuperation. *Sleep* 2011, 34, 11–23.
- [28] Babisch W, Houthuijs D, Kwakkeboom J, Swart W, Pershagen G, Bluhm G et al. (2005b). HYENA – hypertension and exposure to noise near airports: a European study on health effects of aircraft noise. In: *Proceedings. 34th International Congress on Noise Control Engineering 2005 (INTER-NOISE 2005)*, Rio de Janeiro, Brazil, 7–10 August 2005. Washington DC: Institute of Noise Control Engineering of the USA.
- [29] Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Velonakis M, Cadum E et al. (2008). Associations between road traffic noise level, road traffic noise annoyance and high blood pressure in the HYENA study. *J Acoust Soc Am.* 123:3448. doi: 10.1121/1.2934267.
- [30] Babisch W, Swart W, Houthuijs D, Selander J, Bluhm G, Pershagen G et al. (2012). Exposure modifiers of the relationships of transportation noise with high blood pressure and noise annoyance. *J Acoust Soc Am.* 132(6):3788–808.
- [31] Babisch W, Pershagen G, Selander J, Houthuijs D, Breugelmans O, Cadum E et al. (2013a). Noise annoyance – a modifier of the association between noise level and cardiovascular health? *Sci Total Environ.* 452–53:50–7.
- [32] Babisch W, Wolf K, Petz M, Heinrich J, Cyrus J, Peters A (2013b). Road traffic noise, air pollution and (isolated systolic) hypertension: cross-sectional results from the KORA study. In: *Proceedings. 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013 (INTER-NOISE 2013)*, Innsbruck, Austria, 15–18 September 2013. Innsbruck: Austrian Noise Abatement Association.
- [33] Floud S, Vigna-Taglianti F, Hansell A, Blangiardo M, Houthuijs D, Breugelmans O et al. (2011). Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: results of the HYENA study. *Occup Environ Med.* 68:518–24.
- [34] Floud S, Blangiardo M, Clark C, Hoogh K de, Babisch W, Houthuijs D, et al. (2013a). Exposure to aircraft and road traffic noise and associations with heart disease and stroke in six European countries: a cross-sectional study. *Environ Health.* 12:89.
- [35] Floud S, Blangiardo M, Clark C, Hoogh K de, Babisch W, Houthuijs D, et al. (2013b). Heart disease and stroke in relation to aircraft noise and road traffic noise – The HYENA study. In: *Proceedings. 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013 (INTER-NOISE 2013)*, Innsbruck, Austria, 15–18 September 2013. Innsbruck: Austrian Noise Abatement Association.
- [36] Jarup L, Dudley ML, Babisch W, Houthuijs D, Swart W, Pershagen G et al. (2005). Hypertension and exposure to noise near airports (HYENA): study design and noise exposure assessment. *Environ Health Perspect.* 113(11):1473–8.
- [37] Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E et al. (2008). Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study. *Environ Health Perspect.* 116(3):329–33.
- [36] Van Poll, R, et al. Gezondheidsonderzoek Vliegbasis Geilenkirchen (Desk Research) I: Hoofdrapportage: samenvatting, conclusies en aanbevelingen Gezondheidsonderzoek Vliegbasis Geilenkirchen. Bilthoven: Nederlands. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn an Sport; 2014. RIVM Rapport 630028011/2014.
- [37] Norris, S, Ford, N (2017). Improving the quality of WHO guidelines over the last decade: progress and challenges. *The Lancet Global Health.* 5 (9), e855–e856.
- [38] Basner, M, Glatz, C, Griefahn, B, Penzel, T, Samel, A. Aircraft noise: Effects on macro- and microstructure of sleep. *Sleep Medicine.* 2008;9(4):382–387.
- [39] Elmenhorst, E-M, et al. Effects of nocturnal aircraft noise on cognitive performance in the following morning: dose-response relationships in laboratory and field. *International archives of occupational and environmental health.* 2010;83(7):743–751.
- [40] Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550), FluLärmG(2007).
- [41] Janssen SA, Vos H, Eisses AR, Pedersen E (2011). A comparison between exposure–response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J Acoust Soc Am.* 130(6):3746–53.
- [42] Kuwano S, Yano T, Kageyama T, Sueoka S, Tachibanae H (2014). Social survey on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Eng J.* 62(6):503–20.
- [43] Van Kamp I., van den Berg F.: Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. *Acoustics Australia*, 2017: p. 1–27. <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0115-6>.
- [44] Poulsen A.H., Raaschou-Nielsen O., Peña A., Hahmann A.N., Nordsborg R.B., Ketznel M., Brandt J., Sørensen M.: Short-term nighttime wind turbine noise and cardiovascular events: A nationwide case-crossover study from Denmark. *Environment International* 2018 May;114:160–166.
- [45] Poulsen A.H., Raaschou-Nielsen O., Peña A., Hahmann A.N., Nordsborg R.B., Ketznel M., Brandt J., Sørensen M.: Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environment International* 2018 Dec;121(Pt 1):207–215.
- [46] Poulsen A.H., Raaschou-Nielsen O., Peña A., Hahmann A.N., Nordsborg R.B., Ketznel M., Brandt J., Sørensen M.: Pregnancy exposure to wind turbine noise and adverse birth outcomes: a nationwide cohort study. *Environmental Research* 2018 Nov;167:770-775.

- [47] Poulsen A.H., Raaschou-Nielsen O., Peña A., Hahmann A.N., Nordsborg R.B., Ketzel M., Brandt J., Sørensen M.: Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: A nationwide cohort study. *Environmental Research* 2018 Aug;165:40–45.
- [48] Umweltbundesamt: Mögliche gesundheitliche Effekte von Windenergieanlagen – Position, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, November 2016, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/161128\\_uba\\_position\\_windenergiegesundheit.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/161128_uba_position_windenergiegesundheit.pdf).
- [49] EC (2003). Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) (Seventeenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC). *OJ L 42*, 15.2.2003:38–44.
- [50] ISO (2013). ISO 1999:2013. Acoustics – estimation of noise-induced hearing loss. Geneva: International Organization for Standardization.
- [51] WHO & ITU (2019). Safe Listening – Devices and Systems. Geneva: World Health Organization.





► **Unsere Broschüren als Download**  
Kurzlink: [bit.ly/2dowYYI](https://bit.ly/2dowYYI)

 [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)  
 [www.youtube.com/user/umweltbundesamt](https://www.youtube.com/user/umweltbundesamt)  
 [www.instagram.com/umweltbundesamt/](https://www.instagram.com/umweltbundesamt/)